

博士學位論文

論文の内容の要旨
および
論文審査の結果の要旨

乙第 83 号

平成 2 6 年度

東京都市大学

序

本編は学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成26年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏 名（本籍）	荻田 俊輔（千葉県）
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	乙第 83 号
学位授与の日付	平成 26 年 11 月 27 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 主 題	業務用厨房における天井給気型置換換気・空調方式に関する研究
論 文 審 査 委 員	（主査） 教授 近藤 靖史 教授 岩下 剛 教授 小林 茂雄 教授 山中 俊夫（大阪大学大学院）

論文内容の要旨

日本の外食産業の市場規模は、高度経済成長期に右肩上がりが増加してきたが、平成 9 年をピークにやや減少傾向にあり、東日本大震災に遭遇した平成 23 年度は 22 兆円台まで落ち込んだものの平成 24 年度には 23 兆円に持ち直している。特に飲食店、社員食堂、病院給食などを含む「給食主体部門」の市場規模は外食産業全体の約 80%を占めており、非常に大きな産業部門である。また、給食主体部門において業務用厨房内で働く作業者は多いにもかかわらず、業務用厨房内の温熱・空気環境は必ずしも良好でなく、作業者の快適性・健康性維持や労働生産性向上が課題の 1 つと考えられる。一方、業務用厨房の換気・空調用に消費されるエネルギーが非常に多いことが指摘されており、前述のように市場規模の大きさを考慮すると業務用厨房の換気・空調により消費するエネルギーの低減はいまの日本において重要な課題である。特に、業務用厨房の換気・空調システムでは全外気運転が一般的であり、換気量の多さがエネルギー消費に大きく影響する。

業務用厨房の規模や形態は多種多様であるため、供食スタイルや食文化などに応じた特色が存在する。調理機器を熱源により分類すると、ガスと電気の 2 種類が一般的である。また、調理により分類すると焼く(グリドル)、揚げる(フライヤ)、茹でる(茹で麺器)、蒸す(スチームコンベクションオーブン)などとその調理に見合う調理機器が存在し、それぞれの機器ごとに熱・油煙・水蒸気・臭気・排ガスなどが大量に発生するため、それらを速やかに換気により除去することが重要となる。

日本では業務用厨房の換気・空調方式として、パンカルーバ型吹出し口(以降、パンカルーバと記す)を用いて局所的に換気・空調を行う方式(以降、局所空調方式と記す)を採用することが多い。この方式では必要換気量の一部のみを温度調整し、パンカルーバから吹き出し、調理作業者に気流感を与えることを意図している。しかし、この方式では温度調整していない空気を直接厨房に導入することが多く、外気取入口近傍では温熱環境が悪化する懸念がある。さらに、パンカルーバからの吹出し気流は調理機器上の熱上昇流に対し擾乱となり、排気フードの捕集率を低下し、熱上昇流が作業域側に逸流することにより温熱・空気環境を悪化させる。調理時に発生する油煙(オイルミスト)には化学物質が溶解しており、粒子径の小さいオイルミストは人体の呼吸器内部に到達し、肺胞壁などに沈着し、健康影響を引き起こすことが示唆されている。また焼き魚の煙など加熱調理によって生成する物質の中には、発がん性を有する変異原物質が含まれていることが明らかにされており、排気フードでの速やかに捕集することが重要であり、そのためには厨房内を静穏な環境にして、排気捕集効率を高めることが望ましい。

業務用厨房の換気・空調設備による省エネ性能を高めるためには、少ない換気量で調理により発生する熱上昇流を厨房内に拡散させずにスムーズに排気フードに捕集される状況を作る

ことが重要である。厨房内をできるだけ静穏な状態とし、調理機器上の熱上昇流に対する擾乱を抑える必要がある。厨房内における擾乱としては、主に換気・空調用の吹出し口からの吹出し気流による擾乱(以降、空調擾乱と記す)と、厨房内で作業する調理者が調理や移動により室内気流が乱される擾乱(以降、人体擾乱と記す)の2つが挙げられる。空調擾乱を抑制するために、本研究では置換換気・空調方式に着目する。また、空調擾乱や人体擾乱による影響を考慮して、排気フードに袖壁を設置して、排気フードの捕集性状を高めることが米国などでは推奨されている。

本研究では、「業務用厨房における天井給気型置換換気・空調方式に関する研究」をテーマとして、業務用厨房内の温熱・空気環境の改善と省エネルギーの観点から換気・空調用の吹出し気流が調理機器上の熱上昇流に対する擾乱とならない置換換気・空調方式(Displacement Ventilation System)に着目する。日本国内の厨房は床面積が小さいことを考慮し、天井に置換換気用吹出し口を設置する天井給気型置換換気・空調方式(以降、天井置換換気方式と記す)を提案し、その有効性を実験室およびCFD解析により検討を進める。実験や実測では排気フードの捕集率を求めるのは容易ではなく、業務用厨房の空調・換気システムを評価するために、CFD解析の結果から直接捕集率(Direct Capture Efficiency:以降、DCEと記す)を算定しフードの捕集性状を評価する。居住域(作業域)の換気性状は居住域を対象とした有効換気容積(Effective Ventilated Volume:以降、EVVと記す)により評価し、実在店舗での実測では簡易捕集率により捕集性状を評価する。さらに本研究における天井置換換気方式では、置換換気・空調方式において温度成層が形成されることにより天井付近に高温の熱溜まりができる可能性があるため、この温度の高い空気の誘引を抑制するために吹出面を天井から下げた方式としているのが特長である。

天井置換換気方式の有効性を示すために、壁面に吹出し口を設置した一般的な置換換気・空調方式(以降、壁面置換換気方式と記す)やVHSやパンカルーバ型吹出し口などの従来の空調・換気方式(以降、局所空調方式と記す)を温熱環境ならびに空気環境や省エネルギー効果の比較を検討する。業務用厨房においてはさらにフードがある日本国内の業務用厨房における従来の必要換気量「排気フードの投影面積に0.3m/sを乗じた値」より少ない換気量とすることが可能な業務用電化厨房に着目し、天井置換換気方式を適用した場合の換気量低減の可能性を検討する。また、天井置換換気方式を実在するファミリーレストラン(以降、ファミレスと記す)店舗の小規模業務用厨房に適用し、その有効性を温熱、空気環境などにより検討する。さらには、実在の社員食堂の中規模業務用厨房に適用し、実測とCFD解析により局所空調方式と比較し、天井置換換気方式の有効性を検討することを目的とする。

本論文は以下の章により構成されている。

第1章では、序論として外食産業の現状や業務用厨房の必要換気量や換気方式に関する課題について示し、日本の業務用厨房への適用を意図した置換換気・空調方式と本研究の意義および目的について述べている。

第2章では、ガス厨房を対象として本研究で着目する置換換気・空調方式において、はじめに欧米などで一般的にみられる吹出し口を壁面に設置した従来の置換換気・空調方式と天井置換換気方式との比較を実大実験により検討する。実験では、調理作業を想定した人体の擾乱が、置換換気・空調方式に与える影響についての検討を行う。実験や実測では排気フードの捕集率を求めるのは容易ではないので、CFD解析の結果から直接捕集率(DCE)を算定し、排気フードの捕集性状を評価する。また、居住域(作業域)の空間内の換気の効率を有効換気容積により評価する。

さらに、実大実験により一般的な厨房の空調方式を想定したVHSおよびパンカルーバ型吹出し口などの局所空調方式と天井置換換気方式を比較する。また、実大実験の状況をモデル化

し、CFD 解析により温度場、フードの捕集性状および居住域の換気性状などの検討を行ない、置換換気・空調方式の吹出し口位置による影響について検討する。さらに、洋食・和食・中華の 3 種のレストランの厨房をモデル化し、CFD 解析により DCE、EVV などの評価指標に基づき、気流・温度分布などの比較・検討を行なう。

第 3 章では、換気量低減のために電化厨房に着目し、天井置換換気方式の有効性を検討する。しかしながら、電化厨房機器では熱上昇流が燃烧式ガス厨房機器に比べて弱いことから、擾乱の影響を受けやすい。そのために本研究では調理作業者の動きに伴う擾乱による影響について検討する。北欧で定められた業務用厨房内の排気フードの捕集性能試験 Nordtest method VVS-088 で規定されている擾乱発生方法と同様に擾乱を発生させ、排気フードの捕集率を向上させるためにフード袖壁の効果を検討している。また、空間上部に滞留する熱や汚染質を効率的に除去するために天井の排気口の効果についても検討する。さらには天井給気型置換換気方式、壁面から給気する一般的な置換換気・空調方式とパンカルーバを使用した局所空調方式の 3 方式を実験により比較し、有効性を明らかにする。

第 4 章では、天井置換換気方式を実在の厨房に適用に向けて検討を進める。特に、24 時間営業がなされることが多く、省エネルギーによる効果が大きく現れると期待されるファミリーレストランの小規模業務用電化厨房に着目する。実際の厨房に適用する前段階として、CFD 解析や調理者の動きに伴う擾乱を模擬した状態での実験を実施し局所空調方式との比較をおこなう。さらに、天井給気型置換換気方式を実在するファミレス厨房に適用し、夏期と冬期において実測をおこない、暑熱環境下における熱中症の指標である WBGT や PMV などの温熱環境指標から厨房内温熱環境を評価し、また外気負荷と外気冷房が可能な期間を試算し、省エネルギー効果を検討する。また、厨房内作業者へのアンケートを実施し、その効果の確認をおこなう。

第 5 章では、前章に対して、オフィスビルに計画される社員食堂の中規模業務用電化厨房の適用に向けた検討として、天井置換換気方式の有効性を実測と CFD 解析により検討する。前章で検討したファミリーレストランの小規模業務用電化厨房では調理用加熱機器は壁に沿ってライン状に配置され、排気フードが全て壁付型であった。一方、本章で対象とする社員食堂の中規模厨房では比較的多くの加熱機器が作業テーブルを囲うようなアイランド型のレイアウトであり、加熱機器配置や排気フードの形態が異なり、規模がやや大きい業務用厨房における天井置換換気方式の有効性を本章で検討する。また、実測により測定した電力消費量から省エネルギーについて評価する。

第 6 章では、本研究の全体のまとめと、本研究の成果と今後の課題について示している。

論文審査結果の要旨

日本の外食産業の市場規模は、高度経済成長期に右肩上がりが増加してきたが、平成9年をピークにやや減少傾向にあり、東日本大震災に遭遇した平成23年度は22兆円台まで落ち込んだものの平成24年度には23兆円に持ち直している。特に飲食店、社員食堂、病院給食などを含む「給食主体部門」の市場規模は外食産業全体の約80%を占めており、非常に大きな産業部門である。また、給食主体部門において業務用厨房内で働く作業者は多いにもかかわらず、業務用厨房内の温熱・空気環境は必ずしも良好でなく、作業者の快適性・健康性維持や労働生産性向上が課題の1つと考えられる。一方、業務用厨房の換気・空調用に消費されるエネルギーが非常に多いことが指摘されており、前述のように市場規模の大きさを考慮すると業務用厨房の換気・空調により消費するエネルギーの低減はいまの日本において重要な課題である。特に、業務用厨房の換気・空調システムでは全外気運転が一般的であり、換気量の多さがエネルギー消費に大きく影響する。

業務用厨房の規模や形態は多種多様であるため、供食スタイルや食文化などに応じた特色が存在する。調理機器を熱源により分類すると、ガスと電気の2種類が一般的である。また、調理により分類すると焼く(グリドル)、揚げる(フライヤ)、茹でる(茹で麺器)、蒸す(スチームコンベクションオーブン)などとその調理に見合う調理機器が存在し、それぞれの機器ごとに熱・油煙・水蒸気・臭気・排ガスなどが大量に発生するため、それらを速やかに換気により除去することが重要となる。

日本では業務用厨房の換気・空調方式として、パンカルーバを用いて局所空調方式を採用することが多い。この方式では必要換気量の一部のみを温度調整し、パンカルーバから吹き出し、調理作業者に気流感を与えることを意図している。しかし、この方式では温度調整していない空気を直接厨房に導入することが多く、外気取入口近傍では温熱環境が悪化する懸念がある。さらに、パンカルーバからの吹き出し気流は調理機器上の熱上昇流に対し擾乱となり、排気フードの捕集率を低下し、熱上昇流が作業域側に逸流することにより温熱・空気環境を悪化させる。調理時に発生する油煙(オイルミスト)には化学物質が溶解しており、粒子径の小さいオイルミストは人体の呼吸器内部に到達し、肺胞壁などに沈着し、健康影響を引き起こすことが示唆されている。また焼き魚の煙など加熱調理によって生成する物質の中には、発がん性を有する変異原物質が含まれていることが明らかにされており、排気フードでの速やかに捕集することが重要であり、そのためには厨房内を静穏な環境にして、排気捕集効率を高めることが望ましい。

業務用厨房の換気・空調設備による省エネ性能を高めるためには、少ない換気量で調理により発生する熱上昇流を厨房内に拡散させずにスムーズに排気フードに捕集される状況を作ることが重要である。厨房内をできるだけ静穏な状態とし、調理機器上の熱上昇流に対する擾乱を抑える必要がある。厨房内における擾乱としては、主に換気・空調用の吹き出し口からの吹き出し気流による空調擾乱と、厨房内で作業する調理者が調理や移動により室内気流が乱される人体擾乱の2つが挙げられる。空調擾乱を抑制するために、本論文では置換換気・空調方式に着目している。また、空調擾乱や人体擾乱による影響を考慮して、排気フードに袖壁を設置して、排気フードの捕集性状を高めることが米国などでは推奨されている。

本論文では、「業務用厨房における天井給気型置換換気・空調方式に関する研究」をテーマとして、業務用厨房内の温熱・空気環境の改善と省エネルギーの観点から換気・空調用の吹き出し気流が調理機器上の熱上昇流に対する擾乱とならない置換換気・空調方式(Displacement Ventilation System)に着目している。日本国内の厨房は床面積が小さいことを考慮し、天井に置換換気用吹き出し口を設置する天井置換換気方式を提案し、その有効性を実験室およびCFD解析により検討を進める。実験や実測では排気フードの捕集率を求めるのは容易ではなく、業務用厨房の空調・換気システムを評価するために、CFD解析の結果から直接捕集率(DCE)を算定しフードの捕集性状を評価する。居住域(作業域)の換気性状は居住域を対象とし

た有効換気容積(EVV)により評価し、实在店舗での実測では簡易捕集率により捕集性状を評価している。さらに本論文における天井置換換気方式では、置換換気・空調方式において温度成層が形成されることにより天井付近に高温の熱溜まりができる可能性があるため、この温度の高い空気の誘引を抑制するために吹出面を天井から下げた方式としているのが特長である。

天井置換換気方式の有効性を示すために、壁面に吹出し口を設置した一般的な壁面置換換気方式やVHSやパンカーバ型吹出し口などの従来の局所空調方式を温熱環境ならびに空気環境や省エネルギー効果の比較を検討している。業務用厨房においてはさらにフードがある日本国内の業務用厨房における従来の必要換気量「排気フードの投影面積に 0.3m/s を乗じた値」より少ない換気量とすることが可能な業務用電化厨房に着目し、天井置換換気方式を適用した場合の換気量低減の可能性を検討している。また、天井置換換気方式を实在するファミレス店舗の小規模業務用厨房に適用し、その有効性を温熱、空気環境などにより検討している。さらには、实在の社員食堂の中規模業務用厨房に適用し、実測とCFD解析により局所空調方式と比較し、天井置換換気方式の有効性を検討することを目的としている。

本論文は以下の章により構成されている。

第1章では、序論として外食産業の現状や業務用厨房の必要換気量や換気方式に関する課題について示し、日本の業務用厨房への適用を意図した置換換気・空調方式と本論文の意義および目的について述べている。

第2章では、ガス厨房を対象として本論文で着目する置換換気・空調方式において、はじめに欧米などで一般的にみられる吹出し口を壁面に設置した従来の置換換気・空調方式と天井置換換気方式との比較を実大実験により検討している。実験では、調理作業を想定した人体の擾乱が、置換換気・空調方式に与える影響についての検討を行っている。実験や実測では排気フードの捕集率を求めるのは容易ではないので、CFD解析の結果から直接捕集率(DCE)を算出し、排気フードの捕集性状を評価している。また、居住域(作業域)の空間内の換気の効率を有効換気容積により評価している。

さらに、実大実験により一般的な厨房の空調方式を想定したVHSおよびパンカーバ型吹出し口などの局所空調方式と天井置換換気方式を比較している。また、実大実験の状況をモデル化し、CFD解析により温度場、フードの捕集性状および居住域の換気性状などの検討を行ない、置換換気・空調方式の吹出し口位置による影響について検討している。さらに、洋食・和食・中華の3種のレストランの厨房をモデル化し、CFD解析によりDCE、EVVなどの評価指標に基づき、気流・温度分布などの比較・検討を行なっている。

第3章では、換気量低減のために電化厨房に着目し、天井置換換気方式の有効性を検討している。しかしながら、電化厨房機器では熱上昇流が燃焼式ガス厨房機器に比べて弱いことから、擾乱の影響を受けやすい。そのために本論文では調理作業者の動きに伴う擾乱による影響について検討している。北欧で定められた業務用厨房内の排気フードの捕集性能試験 Nordtest method VVS-088 で規定されている擾乱発生方法と同様に擾乱を発生させ、排気フードの捕集率を向上させるためにフード袖壁の効果を検討している。また、空間上部に滞留する熱や汚染質を効率的に除去するために天井の排気口の効果についても検討している。さらには天井給気型置換換気方式、壁面から給気する一般的な置換換気・空調方式とパンカーバを使用した局所空調方式の3方式を実験により比較し、有効性を明らかにしている。

第4章では、天井置換換気方式を实在の厨房に適用に向けて検討をしている。特に、24時間営業がなされることが多く、省エネルギーによる効果が大きく現れると期待されるファミリーレストランの小規模業務用電化厨房に着目している。実際の厨房に適用する前段階として、CFD解析や調理者の動きに伴う擾乱を模擬した状態での実験を実施し局所空調方式との比較をおこなっている。さらに、天井給気型置換換気方式を实在するファミレス厨房に適用し、夏

期と冬期において実測をおこない、暑熱環境下における熱中症の指標である WBGT や PMV などの温熱環境指標から厨房内温熱環境を評価し、また外気負荷と外気冷房が可能な期間を試算し、省エネルギー効果を検討している。また、厨房内作業員へのアンケートを実施し、その効果の確認をおこなっている。

第 5 章では、前章に対して、オフィスビルに計画される社員食堂の中規模業務用電化厨房の適用に向けた検討として、天井置換換気方式の有効性を実測と CFD 解析により検討している。前章で検討したファミリーレストランの小規模業務用電化厨房では調理用加熱機器は壁に沿ってライン状に配置され、排気フードが全て壁付型であった。一方、本章で対象とする社員食堂の中規模厨房では比較的多くの加熱機器が作業テーブルを囲うようなアイランド型のレイアウトであり、加熱機器配置や排気フードの形態が異なり、規模がやや大きい業務用厨房における天井置換換気方式の有効性を本章で検討している。また、実測により測定した電力消費量から省エネルギーについて評価している。

第 6 章では、本論文の全体のまとめとして、以上の各章の結論を総括している。

以上を要するに、本論文は業務用厨房における換気・空調方式において、天井給気型置換換気・空調方式について、フード捕集性状に与える種々の擾乱などの影響を実験ならびに CFD 解析により検討し、実在する小規模業務用厨房、中規模業務用厨房への有効性を明らかにしたものである。この論文で明らかにされたことは、新たな換気・空調方式により業務用厨房における必要換気量の低減に向けた可能性提起をすると共に、建築環境工学において、その設計方法や技術の発展に寄与するところが大きいと考えられる。

よって、本論文は工学的に価値がある内容であり、博士（工学）の学位論文に値するものと判断する。